

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-20563

(43) 公開日 平成9年(1997)1月21日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

C 0 4 B 35/584

識別記号

庁内整理番号

F I

C 0 4 B 35/58

技術表示箇所

1 0 2 F

1 0 2 H

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平7-166518

(22) 出願日

平成7年(1995)6月30日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 高尾 実

神奈川県横浜市鶴見区末広町2の4 株式  
会社東芝京浜事業所内

(72) 発明者 池田 功

神奈川県横浜市鶴見区末広町2の4 株式  
会社東芝京浜事業所内

(72) 発明者 藤内 弘喜

神奈川県横浜市鶴見区末広町2の4 株式  
会社東芝京浜事業所内

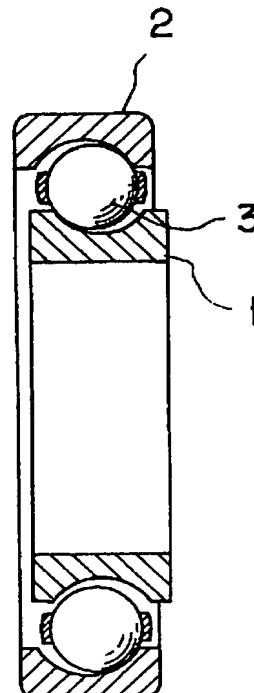
(74) 代理人 弁理士 波多野 久 (外1名)

(54) 【発明の名称】 窒化けい素焼結体

(57) 【要約】

【目的】 窒化けい素焼結体本来の特性である高強度、耐摩耗性、耐熱性等を損なうことなく、さらに酸やアルカリ等の化学薬品に対しても優れた耐薬品性（耐腐食性）を示す窒化けい素焼結体を提供する。

【構成】 構成元素として、マグネシウムを0.1～1.5重量%、アルミニウムを0.1～3重量%、炭素を0.01～6重量%、酸素を0.2～5重量%の範囲で含み、残部が実質的に窒化けい素からなる窒化けい素焼結体である。この窒化けい素焼結体は、 $MgO \cdot Al_2O_3$  スピネル構造体を0.5～6重量%、炭化けい素を0.1～2.0重量%、酸化けい素を1重量%以下、酸化アルミニウムを3重量%以下、残部が実質的に窒化けい素からなるセラミックス混合体を、焼成することにより得られる。この窒化けい素焼結体は、耐薬品性部材や軸受部材1、2、3として使用される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 構成元素として、マグネシウムを0.1～1.5重量%、アルミニウムを0.1～3重量%、炭素を0.01～6重量%、酸素を0.2～5重量%の範囲で含み、残部が実質的に窒化けい素からなることを特徴とする窒化けい素焼結体。

【請求項2】 請求項1記載の窒化けい素焼結体において、前記窒化けい素焼結体は、その構成元素として、さらにチタニウム、ハフニウム、タングステンから選ばれた少なくとも1種を0.1～3.8重量%の範囲で含むことを特徴とする窒化けい素焼結体。

【請求項3】  $MgO \cdot Al_2O_3$  スピネル構造体を0.5～6重量%、炭化けい素を0.1～20重量%、酸化けい素を1重量%以下、酸化アルミニウムを3重量%以下含み、残部が実質的に窒化けい素からなるセラミックス混合体を、焼成してなることを特徴とする窒化けい素焼結体。

【請求項4】 請求項3記載の窒化けい素焼結体において、前記セラミックス混合体は、さらに、チタニウム、ハフニウム、タングステンの酸化物および炭化物から選ばれた少なくとも1種の化合物を0.1～4重量%の範囲で含むことを特徴とする窒化けい素焼結体。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれかに記載の窒化けい素焼結体から成ることを特徴とする耐薬品性部材。

【請求項6】 請求項1ないし4のいずれかに記載の窒化けい素焼結体から成ることを特徴とする軸受部材。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、窒化けい素焼結体に係り、特に優れた機械的強度および耐摩耗性に加えて、耐薬品性にも優れた窒化けい素焼結体に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 窒化けい素を主成分とするセラミックス焼結体は、優れた耐熱性を示し、かつ熱膨張係数が小さいため、耐熱衝撃性にも優れる等の諸特性を有することから、従来の耐熱合金に代わる高温構造用材料として、エンジン部品、製鋼用機械部品等への応用が試みられている。また、耐摩耗性にも優れていることから、軸受け等の摺動部材や切削工具としての実用化も図られている。

【0003】 通常、窒化けい素は難焼結性のセラミックス材料であるため、焼結助剤として希土類酸化物や酸化アルミニウム等を原料粉末に所定量添加して焼結性を改善し、緻密で高強度なセラミックス焼結体を得ている。例えば、窒化けい素系セラミックスの焼結組成としては、 $Si_3N_4 - Y_2O_3 - Al_2O_3$ 系、 $Si_3N_4 - Y_2O_3 - Al_2O_3 - AlN$ 系、 $Si_3N_4 - Y_2O_3 - Al_2O_3 - Ti$ 、 $Mg$ 、 $Zr$ 等の酸化物系等が知られている。

【0004】 上記焼結組成における酸化イットリウム等の希土類元素の酸化物や酸化アルミニウムを添加して形成した窒化けい素焼結体は、焼結性が向上して緻密化が促進され、機械的強度特性にも優れたものとなる。また、窒化アルミニウムや酸化チタン等の複数種類の化合物を組合せたものを添加する等によって、高温での機械的特性、耐摩耗性を改善するように工夫されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記組成を有する窒化けい素焼結体は、いずれも酸やアルカリ等の化学薬品に対する耐腐食性が不十分であり、薬品が混在する環境下で使用する構造材料として採用した場合には、所定の耐久性や信頼性が得られないという問題があった。一方、耐薬品性に優れた材料として、 $\beta$ -サイアロンを原料とする焼結体も広く使用されているが、機械的特性が不十分であるため、適用範囲が狭く限定されるという欠点があった。

【0006】 例えば、近年、化学物質が多量に存在する環境下で使用可能な軸受け部材や耐熱性部材や耐摩耗性部材に対する需要が増加しており、このような用途には従来用いられてきた耐食・耐熱合金や耐熱超硬合金等では対応が困難であるため、耐熱性や耐摩耗性等が金属より優れるだけでなく、耐薬品性（耐腐食性）にも優れたセラミックス部材の出現が強く望まれている。特に化学薬品が存在する環境下で使用可能な軸受けの需要が増加しているが、従来の金属製の軸受けでは、耐久性が不十分であった。そこで耐薬品性や耐熱性などの基本特性において金属材よりも優れた特性を有するセラミックス材料を軸受け構成材として適用することが試行されているが、軸受け材の全ての要求特性を満足するセラミックス材料は未だ実現していない。

【0007】 本発明は、このような課題に対処するためになされたもので、窒化けい素焼結体本来の特性である高強度、耐摩耗性、耐熱性等を損なうことなく、さらに酸やアルカリ等の化学薬品に対しても優れた耐薬品性（耐腐食性）を示す窒化けい素焼結体を提供することを目的としている。

## 【0008】

【課題を解決するための手段と作用】 本発明者らは、上記目的を達成するために、添加助剤の種類および量に着目し、各種化合物を窒化けい素原料粉に添加して焼結体を調製し、各焼結体を腐食雰囲気中に暴露した後における焼結体特性を比較評価することによって、上記添加助剤の種類および添加量が焼結体の耐腐食特性に及ぼす影響を確認した。

【0009】 その結果、 $MgO \cdot Al_2O_3$  スピネル構造体と、炭化けい素と、必要に応じて酸化けい素と、 $Ti$ 、 $Hf$  および  $W$  の酸化物、炭化物の少なくとも一種とを添加助剤として窒化けい素原料に適量配合することによって、耐薬品性に優れると共に、強度劣化等が少ない窒

化けい素焼結体が得られることを見出した。

【0010】本発明は、上記知見に基づいてなされたもので、本発明の窒化けい素焼結体は、構成元素として、マグネシウムを0.1～1.5重量%、アルミニウムを0.1～3重量%、炭素を0.01～6重量%、酸素を0.2～5重量%の範囲で含み、残部が実質的に窒化けい素からなることを特徴とする。また、上記窒化けい素焼結体において、前記窒化けい素焼結体が、その構成元素として、さらにチタニウム、ハフニウム、タングステンから選ばれる少なくとも1種を0.1～3.8重量%の範囲で含むように構成してもよい。

【0011】また、本発明を出発原料組成から規定した窒化けい素焼結体は、 $MgO \cdot Al_2O_3$  スピネル構造体を0.5～6重量%、炭化けい素を0.1～20重量%、酸化けい素を1重量%以下（0を含む）、酸化アルミニウムを3重量%以下（0を含む）含み、残部が実質的に窒化けい素からなるセラミックス混合体を、焼成してなることを特徴としている。また、上記 $MgO \cdot Al_2O_3$  スピネル構造体と、炭化けい素と、酸化けい素と、酸化アルミニウムとの他に、さらに必要に応じてチタニウム、ハフニウム、タングステンの酸化物および炭化物から選ばれる少なくとも1種の化合物を0.1～4重量%の範囲で含むセラミックス混合体を焼成してなることを特徴としている。

【0012】本発明に係る窒化けい素焼結体を製造する工程において、窒化けい素原料粉末に添加される $MgO \cdot Al_2O_3$  スピネル構造体は、焼結促進剤として機能するばかりでなく、特に薬品に対して強い耐性を示す粒界相を形成して、焼結体の耐薬品性を向上させるものである。このため、原料粉末中に0.5～6重量%の範囲で添加される。その添加量が0.5重量%未満の場合には、焼結体の緻密化が不十分となり、窒化けい素焼結体本来の特性が損われる。一方、添加量が6重量%を超えると、耐薬品性が逆に低下しはじめるので上記範囲に設定されるが、特に好ましい添加量は2～5重量%の範囲である。

【0013】また、本発明において窒化けい素原料粉末に添加する他の成分としての炭化けい素は、耐薬品性を高める効果を発揮するのみでなく、窒化けい素焼結体の機械的特性、特に硬度の向上に寄与し、焼結体の高剛性化を達成するものである。また、薬品中等の無潤滑環境下においては、摩擦抵抗の軽減にも効果を示すものであり、原料粉末中に0.1～20重量%の範囲で添加される。炭化けい素の添加量が0.1重量%未満であると、機械的特性の改善効果および摩擦抵抗の低減効果が不十分であり、一方20重量%を超えると、焼結性を阻害する。より好ましい添加量は1～10重量%の範囲である。

【0014】さらに、本発明において窒化けい素原料粉末に添加する他の成分としての酸化けい素は、窒化けい

素粒子と各種添加助剤との結合を強固にし、耐薬品性を高める効果を有し、原料粉末中に1重量%以下（0を含む）添加される。酸化けい素は必ずしも添加しなければならないものではないが、上記したような効果を得る上で添加することが望ましく、その際の添加量は1重量%以下とする。添加量が1重量%を超える過量とした場合には、焼結性が阻害される。より好ましい添加量の範囲は0.2～0.6重量%である。

【0015】また本発明において窒化けい素原料粉末に添加する他の成分としての酸化アルミニウムは、焼結性を向上させる焼結促進剤として機能するため、より多くの添加が望ましい。しかしながら多量に添加すると焼結体の耐薬品性を損うことになる。そして耐薬品性を低下させることなく焼結促進剤として機能させる添加量の範囲は3重量%以下であり、より好ましくは0.5～2重量%の範囲が望ましい。

【0016】本発明で用いるセラミックス混合体においては、上記した各種添加助剤の他に、さらにTi、HfおよびWの酸化物および炭化物から選ばれる少なくとも1種の化合物を0.1～4重量%の範囲で添加することができる。これらのTi、Hf、Wの化合物は、 $MgO \cdot Al_2O_3$  スピネル構造体と相乗的に作用し、緻密化を促進する焼結促進剤として機能する上に、焼結後において高融点の化合物となって、単独で粒子として焼結体組織内に分散する形態を示し、焼結体の強度および耐摩耗性を向上させる効果を有する。上記Ti、Hf、Wの化合物は、原料粉末中に0.1～4重量%の範囲で添加することが好ましい。添加量が0.1重量%未満のときは、焼結性の促進および強度特性の改善効果が少なく、一方4重量%を超えると、耐薬品性が低下してしまう。焼結体の機械的強度、耐薬品性を保持するためには、1～2重量%の範囲で添加することがより好ましい。

【0017】本発明の窒化けい素焼結体における各構成元素の含有量は、上記した各添加成分の添加量規定と同様な理由から規定されたものであり、Mgの含有量が0.1重量%未満であったり、Alの含有量が0.1重量%未満であると、良好な耐薬品性を付与することができなると共に、焼結体の密度低下をもたらす。一方Mgの含有量が1.5重量%を超えたり、Alの含有量が3重量%を超えると、逆に耐薬品性が低下してしまう。これらは、基本的には $MgO \cdot Al_2O_3$  スピネル構造体を構成し得るような比率で含有されているものであるが、焼結過程等において多少変動するものである。酸素（O）の含有量範囲は、上記MgとAlの含有量の理由に準ずるものである。また、炭素（C）は炭化けい素として添加されたものであり、Cの含有量が0.01重量%未満であると、機械的特性や耐薬品性を十分に高めることができず、一方6重量%を超えると、焼結体の密度低下をもたらす。Ti、Hf、Wに関しても同様である。

【0018】本発明に係る窒化けい素焼結体は、例えば以下に示すような製造方法により作製される。

【0019】すなわち、窒化けい素原料粉末に $MgO \cdot Al_2O_3$ スピネル構造体、炭化けい素、酸化けい素、酸化アルミニウム、さらには必要に応じて、Ti、Hf、Wの酸化物および炭化物から選ばれる少なくとも1種の化合物を所定量添加し、原料混合体を調製する。次いで、得られた原料混合体を金型プレス等の汎用の成形法によって所望形状の成形体（セラミックス混合物成形体）とした後、この成形体を窒素ガスまたはアルゴンガス等の不活性ガス雰囲気中で、1700～1850℃程度の温度で所定時間焼結する。なお、上記焼結操作は、常圧焼結法によっても、あるいはその他の焼結法、例えばホットプレス法、雰囲気加圧焼結法、熱間静水圧焼結法（HIP）等を適用して実施してもよい。いずれの焼結法においても緻密で機械的強度が高く、特に酸やアルカリ等の化学的薬品が混在する使用環境下において、耐薬品性（耐腐食性）に優れた窒化けい素焼結体が得られる。

【0020】

【実施例】次に、本発明を以下に示す実施例を参照してより具体的に説明する。

【0021】実施例1および比較例1～2

平均粒径0.7μmのα相型窒化けい素粉末89.5重量%と、平均粒径0.8μmの $MgO \cdot Al_2O_3$ スピネル構造体粉末4重量%と、平均粒径0.5μmの炭化けい素粉末3重量%と、平均粒径0.7μmの酸化けい素粉末0.5重量%と、平均粒径0.9μmの酸化アルミニウム粉末3重量%との混合物を、トルエンを溶媒としてボールミルで96時間混合し、均一な原料混合体を

10

20

30

【0022】次に、得られた原料混合体に有機バインダを所定量添加して均一に混合した後に、1000kgf/cm<sup>2</sup>の成形圧力で加圧成形し、50×50×5mmの成形体を作製した。次いで、得られた成形体を温度500℃の大気雰囲気中で脱脂した後、この脱脂体を窒素ガス雰囲気中にて、1850℃で6時間常圧焼結し、実施例1に係る窒化けい素焼結体を調製した。

【0023】一方、本発明との比較として、上記実施例1において、 $MgO \cdot Al_2O_3$ スピネル構造体粉末を添加せず、平均粒径0.9μmの酸化イットリウム粉末を2重量%と平均粒径0.9μmの酸化アルミニウム粉末2重量%のみを添加する以外は、実施例1と同一条件で、混合、成形、焼結を行って、比較例1に係る窒化けい素焼結体を調製した。

【0024】また上記実施例1において、酸化アルミニウムの添加量を6重量%と過量に設定した以外は、実施例1と同一条件で、混合、成形、脱脂、焼結を実施して比較例2に係る窒化けい素焼結体を調製した。

【0025】こうして得た実施例1および比較例1～2に係る各窒化けい素焼結体について、密度、常温（25℃）における曲げ強度および破壊靱性値を測定した。また、耐薬品性を評価するために、各試料をそれぞれ30%濃度のHCl溶液に浸漬し、90℃で100時間加熱処理し、処理後における重量減および曲げ強度を測定した。それらの結果を表1に示す。なお、実施例1による窒化けい素焼結体中に含まれる構成元素は、Mg 0.7重量%、Al 1.8重量%、O 2.7重量%、C 1.0重量%、Si 57.2重量%、N 36.6重量%、不純物（Fe等）0.01重量%であった。

【0026】

【表1】

	相対密度 (%)	曲げ強度 (MPa)	破壊靱性値 (MPa m <sup>1/2</sup> )	HCl 浸漬後 重量減 (%)	HCl 浸漬後曲げ 強度 (MPa)
実施例1	99.8	1009	6.8	0.009	920
比較例1	99.8	980	6.8	0.105	586
比較例2	99.8	1007	6.8	0.066	705

【0027】表1の結果が示すように、実施例1に係る窒化けい素焼結体は、曲げ強度、破壊靱性値等の機械的特性が優れていると共に、浸漬処理後の特性についても、比較例1の酸化イットリウム添加系の焼結体よりも重量減が少なく耐薬品性に優れており、また機械特性にも優れていることが判明した。

【0028】また実施例1および比較例2の各焼結体の相違点は、ボールミルで混合して調製した原料混合体中に含まれる酸化アルミニウムの添加量が、それぞれ3重量%と6重量%と異なる点のみである。比較例2に係る焼結体の曲げ強度や破壊靱性値などの機械的特性は、実施例1の焼結体と比較して遜色がない。しかしながら、比較例2の焼結体においては、HCl浸漬後における曲

40

50

げ強度が明らかに低下する傾向が判明した。

【0029】なお、酸化アルミニウム製ボールを粉碎媒体とするボールミル混合機を使用して原料混合体を調製する場合には、アルミナボールの減耗により、相当量の酸化アルミニウム成分が不可避免的に原料混合体中に混入することが本発明者らの実験により確認されている。しかしながら上記実施例1と比較例2との比較結果から明らかのように、ボールミル混合機からの酸化アルミニウム成分の混入汚染量が3重量%以下であれば、窒化けい素焼結体の強度特性および耐薬品性を低下させるおそれが少ないことも確認できた。

【0030】実施例2～15、比較例3～6

実施例1で使用した窒化けい素粉末、 $MgO \cdot Al_2O_3$

3 スピネル構造体粉末、炭化けい素粉末、酸化けい素粉末、酸化アルミニウム粉末およびTi、Hf、Wの酸化物または炭化物粉末を、表2に示す組成比となるように調合して原料混合体をそれぞれ調製した。次いで、得られた各原料混合体を実施例1と同一条件で成形、脱脂、焼結して、それぞれ実施例2～15に係る窒化けい素焼結体を作製した。

【0031】一方、比較例3～6として、表2に示す通り、炭化けい素を過剰に添加したもの（比較例3）、M

$gO \cdot Al_2O_3$  スピネル構造体を過剰に添加したもの（比較例4）、酸化けい素を過剰に添加したもの（比較例5）、酸化チタニウムを過剰に添加したもの（比較例6）をそれぞれ調製し、実施例1と同一条件で原料混合から焼結操作を実施し、それぞれ対応する比較例3～6に係る窒化けい素焼結体を作製した。

【0032】

【表2】

		原 料 組 成 (重量%)				
		Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	スピネル	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	他 成 分
実 施 例	2	90.0	4	5	0.5	SiO <sub>2</sub> :0.5
	3	79.0	5	15	0.5	SiO <sub>2</sub> :0.5
	4	94.5	3	1.5	0.5	SiO <sub>2</sub> :0.5
	5	90.7	3	5	0.5	SiO <sub>2</sub> :0.8
	6	92.3	3	4	0.5	SiO <sub>2</sub> :0.2
	7	91.5	4	4	0.5	—
	8	81.5	6	12	0.5	—
	9	94.0	1.5	3	1	SiO <sub>2</sub> :0.5
	10	89.6	3	5	1	SiO <sub>2</sub> :0.4, TiO <sub>2</sub> :1
	11	87.2	3	5	1	SiO <sub>2</sub> :0.3, TiO <sub>2</sub> :3.5
	12	92.8	3	3	1	SiO <sub>2</sub> :0.2
	13	90.0	4	3	1	SiO <sub>2</sub> :0.5, TiC:1.5
	14	88.0	4	5	1	SiO <sub>2</sub> :0.5, WC:1.5
	15	89.0	4	4	1	SiO <sub>2</sub> :0.5, HfO <sub>2</sub> :1.5
比 較 例	3	63.5	5	30	1	SiO <sub>2</sub> :0.5
	4	83.5	10	5	1	SiO <sub>2</sub> :0.5
	5	89.0	3	5	1	SiO <sub>2</sub> :2.0
	6	87.5	3	5	1	SiO <sub>2</sub> :0.5, TiO <sub>2</sub> :8

【0033】こうして得た実施例2～15および比較例3～6の各窒化けい素焼結体について、実施例1と同一条件で、密度、曲げ強度、硬度をそれぞれ測定すると共に、浸漬処理を実施して各試料の重量減および曲げ強度

を測定した。それらの測定結果を表3に示す。

【0034】

【表3】

		相对 密度 (%)	曲げ強度 (MPa)	破壊靱性値 (MPa <sup>1/2</sup> )	硬度	HCl 浸漬後 重量減 (%)	HCl 浸漬後 曲げ強度 (MPa)
実 施 例	2	99.8	1068	6.9	1510	0.007	970
	3	99.7	970	6.8	1540	0.010	892
	4	99.8	1049	6.8	1510	0.007	931
	5	99.7	1009	6.7	1480	0.006	931
	6	99.8	1058	6.8	1520	0.011	902
	7	99.8	1049	7.0	1500	0.015	911
	8	99.8	1127	6.9	1570	0.017	892
	9	99.6	980	6.7	1510	0.006	872
	10	99.8	1127	6.9	1500	0.009	931
	11	99.7	1196	7.0	1480	0.023	921
	12	99.8	1019	7.0	1470	0.020	872
	13	99.7	1058	7.1	1530	0.010	902
	14	99.8	1098	7.1	1560	0.009	941
	15	99.8	1049	7.2	1490	0.008	921
	比 較 例	3	95.5	794	6.2	1600	0.020
4		99.8	1098	7.1	1470	0.045	745
5		97.0	833	6.4	1420	0.021	774
6		99.8	1049	7.0	1520	0.048	686

【0035】表3に示す結果から明らかなように、スピネル構造体と炭化けい素と、酸化アルミニウムと、必要に応じて酸化けい素と、Ti、Hf、Wの酸化物または炭化物とを所定量添加した実施例2～15の各焼結体は、いずれも高い機械的特性を示し、かつHCl浸漬試験後における重量減および曲げ強度の低下が少なく、耐薬品性に優れていることが確認された。

【0036】また上記のように調製した窒化けい素焼結体を、実際に軸受の耐薬品性部材に適用して、その軸受の耐薬品性を含めた耐久性を評価した。すなわち、実施例12に係る製造方法に準拠して調製した窒化けい素焼結体を加工し、図1に示すようなセラミックス玉軸受

(ボールベアリング)を製造した。この玉軸受は、上記窒化けい素焼結体から成る円筒状の内輪1と外輪2との間に、球状の転動体(窒化けい素ボール)3を介在させて構成されている。

【0037】一方、比較例として、同一寸法を有する従来の鋼(SUJ2)製玉軸受を用意し、上記セラミックス玉軸受とともに、塩酸ミストが混在するグリース潤滑環境下で連続回転試験を実施した。その結果、耐熱・耐食性がより優れたセラミックス玉軸受の方が、従来の鋼

製玉軸受と比較して高温下でも硬さを維持でき、焼き付きも生じることがないため、10倍以上も寿命を延伸できることが判明し、優れた効果を発揮できることが確認された。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る窒化けい素焼結体によれば、特にスピネル構造体により焼結体組織に耐薬品性を有する粒界相が形成されるため、耐腐食性を向上させることができると共に、窒化けい素焼結体本来の耐摩耗性を損なうことなく、機械的特性も改善することができる。従って、軸受部品やガスタービン部品等を構成していた従来の耐食・耐熱合金や耐食超硬合金等に代わる高強度耐摩耗性・耐薬品性部材等として極めて有用な窒化けい素焼結体として有用である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る窒化けい素焼結体で形成した玉軸受(ボールベアリング)の構成を示す断面図。

【符号の説明】

- 1 内輪
- 2 外輪
- 3 転動体(窒化けい素ボール)

【図1】

